

Charakterisierung der Wurzeigenschaften von Khorasan- und Durumweizen mittels kapazitiver Feldmessung und Bildanalyse

Characterizing root properties of Khorasan and durum wheat by capacitance measurement and image analysis

Gernot Bodner^{1*}, Heinrich Grausgruber¹, Mollabashi Elnaz Ebrahimi² und Hans-Peter Kaul¹

Abstract

Drought tolerance will become an essential trait for successful crop production facing climate change. This breeding target can be sustained by extending existing germplasm by underutilized species and varieties. The root system is essential for an optimum use of soil water resources for plant growth. Integrating root parameters in breeding for drought tolerance requires their quantitative description. The objective of the study is the characterization of the root system of the tetraploid wheat species *Triticum turanicum* (Khorasan wheat) and *T. durum* using indirect capacitance measurement and image analysis. In both experimental years Khorasan wheat had a superior root capacitance compared to durum wheat being 28% higher in average. After an extremely dry April in 2009, also the image analysis revealed a higher root length and a narrower root-shoot ratio of Khorasan wheat. The capacitance method was found to be a reliable screening tool to differentiate between the species. However, it only provides limited information on the root system properties. Image analysis on the contrary gives a detailed quantitative description of root parameters which potentially contribute to an improved water uptake, while the clear distinction among species is complicated due to the high natural heterogeneity of root systems and the limited possibility of sub-sampling for this method.

Keywords

Drought tolerance, measurement methods, root system, tetraploid wheat

Einleitung

Zur Sicherung der Nahrungsmittelproduktion wird in Anbetracht von Klimawandel und Witterungsextremen die Trockenheitstoleranz landwirtschaftlicher Nutzpflanzen zu einem entscheidenden Selektionskriterium. Nach LEVITT (1980) können Pflanzen über zwei Wege Trockenheit vermeiden ('drought avoidance'): durch die Minimierung von Verlusten sowie die Maximierung der Aufnahme. Letzteres wird insbesondere durch ein intensives Wurzelsystem erreicht. WAINES und EHDAIE (2007) zeigten, dass das

Zuchtziel der Ertragssteigerung unter Optimumbedingungen über viele Jahre jedoch zu einer systematischen Züchtung gegen die Wurzel führte. Zur Verbesserung der Trockenheitstoleranz können die genetischen Ressourcen von verwandten Wildpflanzen, wenig genutzten Arten und Landrassen einen interessanten Beitrag leisten (REYNOLDS et al. 2007).

Ziel in den laufenden Untersuchungen ist die Evaluierung der „Wurzelbiodiversität“ von tetraploiden Weizen, um potentielle Kandidaten für die züchterische Verbesserung der Wasseraufnahmefähigkeit zu selektieren. Gezeigt werden erste methodische Ergebnisse im Vergleich von Khorasan- (*Triticum turanicum*) und Durumweizen (*T. durum*) bei Verwendung kapazitiver Feldmessung und bildanalytischer Labormessung zur Quantifizierung der Wurzelsystemeigenschaften.

Material und Methoden

Die Feldversuche wurden in den Jahren 2008 und 2009 auf der Versuchswirtschaft Groß-Enzersdorf im Trockengebiet Ostösterreichs durchgeführt. Die mittlere Jahresniederschlagssumme am Standort liegt bei 524 mm, die Durchschnittstemperatur bei 9,5°C. Der Bodentyp ist ein Tschernosem aus kalkhaltigem Feinsediment über quartären Schottern. Bei der Bodenart handelt es sich um einen schluffigen Lehm mit einer mittleren Wasserspeicherkapazität von etwa 150 mm m⁻¹. *Tabelle 1* zeigt die Witterung während der Vegetationszeit in den beiden Versuchsjahren. Hervorzuheben ist die Frühjahrstrockenheit 2009 mit einer niederschlagsfreien Periode zwischen 31. März und 10. Mai.

Untersucht wurden die Sorten QK-77 (Kamut®, *T. turanicum*) und Floradur (*T. durum*). Die Versuche wurden als

Tabelle 1: Saat- und Erntetermin, Niederschlagssumme, Verdunstungssumme (ET₀) und Mitteltemperatur in der Vegetationszeit

Table 1: Sowing and harvest date, precipitation, reference evapotranspiration (ET₀) and mean temperature during vegetation periods

Jahr	Saat	Ernte	Niederschlag (mm)	ET ₀ (mm)	Temperatur (°C)
2008	13. März	10. Juli	316,6	252,7	14,4
2009	2. April	27. Juli	232,4	258,2	16,9

¹ Institut für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung, Universität für Bodenkultur, Gregor-Mendel-Straße 33, A-1180 WIEN

² Faculty of Agriculture, Dept. Agronomy, University of Tabriz, Iran

* Ansprechpartner: Dr. Gernot BODNER, gernot.bodner@boku.ac.at

Blockanlage mit drei Wiederholungen und einer Parzellengröße von 12 m² angelegt. Die Wurzelsystemcharakterisierung im Feld erfolgte mittels kapazitiver Messung (CHLOUPEK 1977) unter Verwendung eines LCR-Meters bei einer Messfrequenz von 1 kHz. Die Messung erfolgte zu Beginn des Schossens im Mai (BBCH 30) und zur Blüte im Juni (BBCH 61) des jeweiligen Versuchsjahres. Zum zweiten Messtermin wurden mittels Bodenbohrer (Innendurchmesser 7 cm) Bohrkern bis 60 cm Bodentiefe entnommen (2310 cm³) und in 10 cm Proben unterteilt. Im Labor wurden die Wurzeln vom Boden frei gewaschen und von der toten organischen Substanz getrennt, anschließend gefärbt, gescannt und mit dem Programm WinRhizo 4.0 (Regent Instruments, Quebec) analysiert. Das Verfahren ist im Detail bei HIMMELBAUER et al. (2004) beschrieben. Nach Abschluss der Bildanalyse wurde die Wurzeltrockenmasse bestimmt. Neben den Wurzeln wurde auch die oberirdische Trockenmasse gemessen. Die statistische Auswertung der Daten erfolgte mit der Prozedur MIXED der Software SAS Vers. 9.1 (SAS Institute, Cary, NC).

Ergebnisse und Diskussion

Abbildung 1 zeigt die Wurzelkapazität der beiden Arten zu den zwei Messterminen. Zu berücksichtigen ist, dass die Vergleichbarkeit jeweils nur zu einem Termin möglich ist, da sowohl die Bodenfeuchte als auch die Veränderung des Pflanzengewebes im Laufe der Entwicklung einen starken Einfluss auf die Höhe des elektrischen Messsignals haben. Die Wurzelkapazität war zu allen Terminen bei Khorasan-Weizen höher als bei Durum. Die Unterschiede reichten von 5,4% (Juni 2008) bis 51,7% (Juni 2009). Im zweiten Versuchsjahr mit einer ausgeprägten Frühjahrstrockenheit war die Differenz zwischen den Arten zu beiden Terminen ausgeprägter. Die höhere Wurzelkapazität zu Schossbeginn weist auf eine raschere Ausbildung des Wurzelsystems bei Khorasan hin. Besonders bei Sommerungen ist ein rasches Tiefenwachstum der Wurzeln kritisch, um bei frühen Trockenperioden die angelegten Ertragsorgane ausreichend versorgen zu können. Tabelle 2 gibt den oberirdischen Trockenmasseaufwuchs, das Wurzel-Sproß-Verhältnis sowie ausgewählte Parameter der bildanalytischen Wurzelmessung wieder.

Im Allgemeinen zeigen die Daten, dass die Differenzierung im trockeneren Jahr 2009 deutlicher ist. Dennoch konnten die Unterschiede in den Parametern nicht statistisch abgesichert werden. Neben der messtechnischen Problematik spielt dabei wohl auch die geringe Zahl an Freiheitsgrade für den Faktor Weizenart in der statistischen Analyse eine Rolle. Durum zeigt im Mittel einen höheren oberirdischen Aufwuchs. Die visuelle Beurteilung der Bestände zu Vegetationsbeginn zeigte einen schlechteren Feldaufgang bei

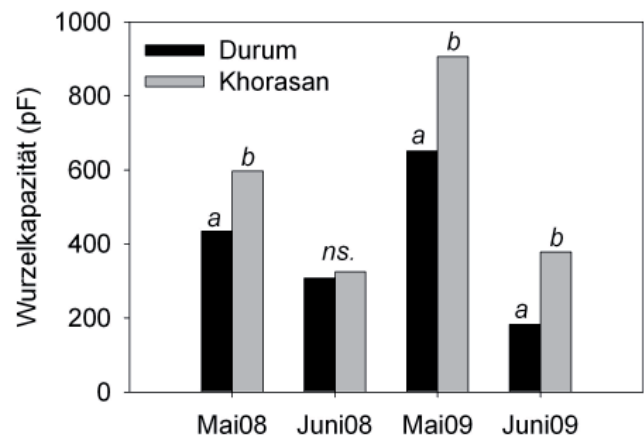


Abbildung 1: Wurzelkapazität zu Schossbeginn und Blüte
Figure 1: Root capacitance at booting and flowering stage

Khorasan, der wahrscheinlich auf eine geringere Keimfähigkeit des Saatguts zurückzuführen ist. Besonders unter den Trockenbedingungen 2009 konnte dies über die Bestockung nicht ausgeglichen werden. 2008 gab es kaum Unterschiede in der mittleren Wurzellängendichte und der Assimilatverteilung zwischen Wurzel und Spross. 2009 zeigte sich eine Tendenz zu einer intensiveren Wurzelbildung bei Khorasan. In beiden Jahren lag der Anteil feiner Wurzeln (Durchmesser <0.1 mm) bei Durumweizen jedoch höher als bei Khorasan. Wasser- und Nährstoffaufnahme erfolgt vor allem über Feinwurzeln, während dickere Primär- und Sekundärwurzeln in erster Linie dem Transport vom Ort der Aufnahme zum Spross dienen (ZOBEL 2005a,b). Ein höherer Feinwurzelanteil könnte auch bei geringerer Gesamtwurzellänge einen Vorteil für die Wasserversorgung bedeuten. Es ist jedoch zu berücksichtigen, dass besonders in der Quantifizierung der Feinwurzeln noch ungelöste messtechnische Probleme vorliegen (PIERRET et al. 2005).

Methodisch weist die kapazitive Wurzelmessung aufgrund der einfachen Durchführung und der damit hohen Zahl an möglichen Subsamples (10 Pflanzen pro Plot) einen messtechnischen Vorteil auf. Die ausgeprägte Heterogenität in der Ausbildung des Wurzelsystems erfordert Messwiederholungen, um zwischen Arten oder Sorten zu differenzieren. Damit eignet sich die kapazitive Methode besonders für das Feldscreening. Ihr Nachteil liegt in der schwierigen Bewertung des Messsignals, das stark durch die Messumgebung beeinflusst wird und nicht immer eindeutig einer Wurzeigenschaft (Länge, Biomasse) zugeordnet werden kann. Direkte Methoden wie die Bildanalyse erfordern dagegen eine aufwendige Probenvorbereitung und schränken die Möglichkeit der Messwiederholung ein. Sie ermöglichen jedoch eine detaillierte Beschreibung wichtiger wurzelmorphologischer Eigenschaften (Länge, Oberfläche,

Tabelle 2: Biomasse, Wurzel-Sproß Verhältnis und bildanalytische Wurzelparameter

Table 2: Biomass, root-shoot ratio and image analytical root parameters root length density and percentage of fine roots

Spezies	Biomasse (kg ha ⁻¹)		Wurzel:Spross (%)		Wurzellängendichte (cm cm ⁻³)		Feinwurzelanteil (%)	
	2008	2009	2008	2009	2008	2009	2008	2009
Durum	6617 ns	6054 ns	17,9 ns	20,5 ns	2,44 ns	2,37 ns	29,5 ns	21,7 ns
Khorasan	6592	5761	17,3	23,0	2,44	2,49	19,4	15,9

Durchmesserklassen, Tiefenverteilung). Die bildanalytische Methode kann daher im Kontext der Züchtung nur für gezielte Detailuntersuchungen nach Vorselektion aus dem vorhandenen Material zielführend angewendet werden.

Schlussfolgerungen

Khorasanweizen weist auf das Potential von züchterisch wenig bearbeiteten Arten hin, über ein intensives Wurzelsystem einen Beitrag zum Ziel einer verbesserten Trockentoleranz zu leisten. Für ein effizientes Screening auf die vorhandene „Biodiversität der Wurzel“ sind rasche Feldmethoden erforderlich. Diese ermöglichen eine Auswahl von Kandidaten für eine nachfolgende detaillierte Wurzelsystemcharakterisierung. Dem Feldversuch vorhergehende Simulationsstudien mit Wurzelarchitekturmodellen könnten künftig eine Eingrenzung der Zielgröße, also jener Wurzelparameter die unter einem gegebenen Trockenregime die Wasseraufnahme optimieren, bringen und damit die Auswahl der effizientesten Messmethode unterstützen.

Literatur

- CHLOUPEK O, 1977: Evaluation of the size of a plant's root system using its electrical capacitance. *Plant Soil* 48, 525-532.
- HIMMELBAUER ML, LOISKANDL W, KASTANEK F, 2004: Estimating length, average diameter and surface area of roots using two different image analysis systems. *Plant Soil* 260, 111-120.
- LEVITT J, 1980: Responses of plants to environmental stresses. Academic Press, New York.
- PIERRET A, MORAN CJ, DOUSSAN C, 2005: Conventional detection methodology is limiting our ability to understand the roles and functions of fine roots. *New Phytol* 166, 967-980.
- REYNOLDS M, DRECCER F, TRETOWAN R, 2007: Drought-adaptive traits derived from wheat wild relatives and landraces. *J Exp Bot* 58, 177-186.
- WAINES JG, EHDAIE B, 2007: Domestication and crop physiology: Roots of green-revolution wheat. *Ann Bot* 100, 991-998.
- ZOBEL RW, 2005a: Primary and secondary root systems. In: Zobel RW, Wright SF (eds.), *Roots and soil management. Interactions between roots and the soil*, 3-14. *Agronomy Monograph* 48, Am Soc Agr, Madison, WI.
- ZOBEL RW, 2005b: Tertiary root systems. In: Zobel RW, Wright SF (eds.), *Roots and soil management. Interactions between roots and the soil*, pp 35-56. *Agronomy Monograph* 48, Am Soc Agr, Madison, WI.